

复杂产品系统协同生产体系框架及多视图概念模型

陈甲华<sup>①</sup>, 邹树梁<sup>②</sup>, 黄建美<sup>②</sup>, 刘 兵<sup>③</sup>  
(南华大学 核能经济与管理研究中心, 湖南 衡阳 421001)

[摘 要] 文章分析了复杂产品系统协同生产的特性, 探讨了复杂产品系统协同生产体系框架, 并从功能、组织、过程、信息四个方面建立了复杂产品系统协同生产的多视图概念模型(功能模型、组织模型、过程模型和信息模型), 全面系统地描述了复杂产品系统协同生产的功能结构、特性和运行方式。

[关键词] 复杂产品系统; 协同生产; 多视图概念模型  
[中图分类号] F270 [文献标识码] A [文章编号] 1673- 0755(2010) 03- 0035- 06

复杂产品系统由于其自身的复杂性、战略性和高投入高产等特点, 已经成为国民经济和社会现代化发展的支撑平台, 在国民经济的发展中发挥着重要作用。由于复杂产品系统属于大型资本型产品, 有着规模大、系统复杂、项目周期长、研发成本高等特点, 单个企业或单位往往不能胜任, 需要多家单位协作才能完成。因而有效地组织相关单位进行复杂产品系统的协同生产就显得十分重要。然而, 由于复杂产品系统的特殊性, 传统的大规模生产的组织和运行模式并不能适用于复杂产品系统的协同生产。本文针对复杂产品系统的协同生产体系进行了研究, 并引进多视图概念模型对复杂产品系统协同生产体系进行了描述。

一 复杂产品系统协同生产的特征

(一) 复杂产品系统

复杂产品系统(Complex Product and System, CoPS)的概念是 20 世纪 90 年代中期由英国的研究学者提出的。根据 Hansen 和 Rush(1998)的定义, 复杂产品系统是指规模大、技术含量高、研发成本高、单件或小批量生产的大型产品、系统或基础设施<sup>[1]</sup>。Hobday(1998)将复杂产品系统定义为高成本的、技术密集型的、用户定制的生产资料、系统、网络、控制单位、软件包、建筑物和服务<sup>[2]</sup>。

复杂产品系统与大规模产品有很多不同。复杂产品系统并不包括一些虽然成本高, 但技术要求较低的成熟产品。例如汽车这类包含大量零部件、涉及多种知识和技能的产品, 虽然其生产技术也比较复杂, 但它们的大量零部件是标准化制造、规模化生产的产品<sup>[3]</sup>, 因此不应纳入复杂产品系统的范畴。Hobday 认为, 复杂产品系统与简单大规模生产

的商品主要存在以下几个方面差异。如表 1 所示

表 1 复杂产品系统与大规模产品的对比<sup>[4]</sup>

|           | 复杂产品系统      | 大规模产品      |
|-----------|-------------|------------|
| 产品特性      | 系统性         | 装配层面       |
|           | 界面复杂        | 界面简单       |
|           | 研发成本高       | 研发成本较低     |
|           | 定制元件        | 标准元件       |
|           | 非线性特性       | 线性特性       |
| 生产特性      | 单个/小批量生产    | 大批量生产      |
|           | 系统集成        | 无须集成       |
|           | 无规模效益       | 有规模效益      |
| 创新流程      | 用户和供应商互动型   | 供应商驱动      |
|           | 高度灵活        | 相对固定       |
|           | 创新与扩散过程融合   | 创新与扩散过程分离  |
| 竞争战略及项目管理 | 聚焦于产品设计及开发  | 聚焦于规模效益    |
|           | 跨企业项目组的管理   | 企业内部项目组的管理 |
| 组织结构      | 多层次、复杂组织结构  | 供应链式结构     |
|           | 基于共同项目的企业联盟 | 单一企业/大规模生产 |
| 市场特性      | 寡头结构        | 多个买主与卖主    |
|           | 交易数量有限      | 交易数量大      |
|           | 非/部分市场机制    | 完全市场机制     |
|           | 政府高度调控      | 政府很少调控     |

(二) 复杂产品系统协同生产的特征

复杂产品系统与大规模产品行业有很大不同, 因此, 复杂产品系统的协同生产与传统的大规模产品的生产组织运

[收稿日期] 2010- 04- 18  
[项目基金] 国家社会科学基金项目资助(编号: 07BJY075), 湖南省社会科学基金项目资助(编号: 08JD14)  
[作者简介] 陈甲华(1978- ), 男, 河北东光人, 南华大学核能经济与管理研究中心讲师, 博士研究生。  
①南华大学教授。②南华大学研究员。③南华大学讲师。

作模式也有很大不同<sup>[5]</sup>。主要表现在以下几个方面:

### 1. 利益主体多元化

传统企业的生产问题主要集中于企业内部, 利益主体为单一企业。复杂产品系统协同生产过程中, 多个相互联系、相互影响的合作企业形成一个更大的产品或服务供给系统, 利益主体由一个企业扩展到协同生产系统中的多个企业。

### 2. 信息来源多样化

传统企业生产调度所需的信息主要来源于供方的资源信息和需方的需求信息。复杂产品系统协同生产由于其多承包组织模式, 生产调度所需的信息不仅来源于供应商、客户, 还包括合作企业、中介机构及其他利益群体等多方面。信息的多源性加强了信息的不完全性与不对称性, 使得复杂产品系统协同生产调度更加复杂。

### 3. 信息反馈网络化

传统企业生产调度信息反馈是链式的, 信息从企业的一个部门到另一个部门直线传递。而复杂产品系统协同生产下的信息反馈是一种复杂的网络结构, 合作企业信息的传递是同步的、并行的, 沿着不同节点和方向呈网络式的传递。

### 4. 运营环境动态化

传统企业的运营环境相对稳定。而在复杂产品系统协同生产中, 企业处于更加复杂多变、更加不确定和动态的环境中, 这就要求复杂产品系统协同生产具有更高的适应性和柔性。

### 5. 决策过程复杂化

传统企业生产调度是集中式的。在复杂产品系统协同生产过程中, 决策过程是一种分布式的、网络式的、群体决策的过程。各个节点的企业都有一定的决策权, 同时, 又会受到其他企业决策的影响。当一个企业的生产计划发生改变时, 整个系统中相关企业的生产计划都要做出相应的调整。

## 二 复杂产品系统协同生产体系框架

### (一) 复杂产品系统协同生产体系框架的设计思路

复杂产品系统协同生产过程可视为由多个相互关联的不同层次项目组成的活动流程。以往的基于单项目或单企业生产管理不能完全适应复杂产品系统的业务管理。现有的管理系统必须从多个方面加以扩展, 以提高系统的适应性、可靠性、柔性等。这些扩展主要体现在以下几个方面:

1. 复杂产品系统协同生产流程是建立在计算机软硬件系统、协同工具和信息技术的基礎上的。

2. 整个流程是源于跨企业间的项目管理方式, 即多产品、多技术的企业间组织和运行。

3. 流程的管理过程中能够反映出信息的动态变化。

4. 流程的管理过程在实施中满足各企业间资源和逻辑制约关系, 并反映它们之间的相互关系。

因此, 复杂产品系统协同生产是以跨企业的项目为执行实体, 以信息为纽带, 以协同设计环境为前提, 以项目协同运作为管理的核心, 以过程间的逻辑制约为约束条件的管理活动。复杂产品系统协同生产体系框架的设计总体思路可从以下几方面展开:

### 1. 分布式的网络体系

为了突破现有系统中单 workflow 执行引擎的各种局限, 通过分布式的网络体系结构, 通过多个引擎的协作共同完成任务<sup>[6]</sup>。

### 2. 分布式的知识库

复杂产品系统涉及到众多广泛的专业知识和技术的参与以及新技术在开发与生产中的融入。协同生产下的成员企业具有各自特定的专业知识, 并由各自进行维护。

### 3. 交互性的项目流程

在复杂产品系统协同生产过程中不仅涉及到同一领域内信息交互, 而且存在着不同领域间的信息交互。这种信息交互不仅有同步的, 还有异步的。因此在协同生产的过程中, 应该采用不同的交互方式。

### 4. 协同设计

协同设计实施涉及到跨企业间的项目协同设计, 因此协同设计不仅在成员企业内部之间进行交互协同, 而且成员企业与成员企业之间、客户与供应商之间也需要协同设计。

### (二) 复杂产品系统协同生产体系框架

从上面的过程分析中, 复杂产品系统协同生产体系框架设计的总体思路如图 1 所示。

图 1 中, 左侧描述了协同生产的四个主要方面, 即产品、系统集成商、生产过程、资源<sup>[7]</sup>。只有四要素有机集成成为一体时, 才能实现系统的协同生产。其中:

1. 产品。复杂产品系统是高成本、高技术、小规模定制产品。由于用户对复杂系统自身认识的局限, 刚开始无法详细的描述出具体的需求, 甚至对复杂产品系统最终的构架和形态无法描述, 只能简单的从功能角度去提出要求。然而, 随着用户在协同生产过程中的积极参与, 对产品的性能以及功能需求会慢慢的清晰, 以致达到产生自己满意的产品需求。

2. 系统集成商。复杂产品系统是多部件的组成, 因此, 在整个生产过程涉及到诸多利益群体, 这个群体构成了多层次的社会网络体系, 主要包括核心企业、合作企业、供应商、承包商、政府、用户以及相关利益群体。

3. 生产过程。用来描述复杂产品系统协同生产的流程以及各个角色根据项目管理的特点制定出相应的管理方法。在整个协同生产过程中, 它涉及到相关各种对象、资源以及过程, 是协同生产的核心。

4. 资源。描述复杂产品系统协同生产过程中协同环境、信息数据库等资源的产生、使用和释放的管理。具体来说不仅包括物能资源、资金、技术、人力以及各种信息等, 而且还包括协同生产环境、软硬件平台、仿真平台、评价工具、管理工具等。

图的中部和右侧部分表明了基于网络环境的协同生产的产品、系统集成商、资源几个重要方面与其工作流的关系, 该图从上到下表明了各个方面的层次关系。在协同生产过程中, 工作任务的分解、任务外包地选择、工作的调度和控制、资源的优化配置以及模块的集成是其重要的环节。

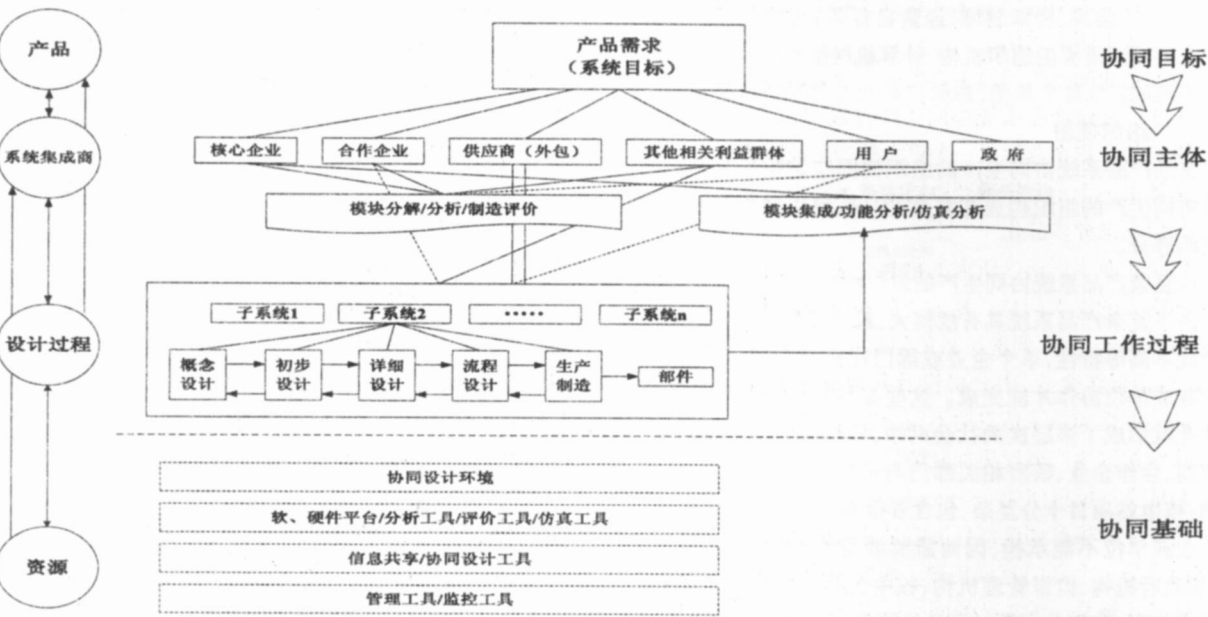


图 1 复杂产品系统协同生产框架图

三 复杂产品系统协同生产体系的多视图概念模型

由于复杂产品系统本身的复杂性, 只从某一个角度来研究它的体系结构难以反映复杂产品系统的各个方面的特性以及各方面之间的内在有机联系。复杂产品系统协同生产体系的多视图概念模型基于复杂产品系统协同生产体系框架, 从功能、组织、过程和信息四个方面全面、系统地描述了复杂产品系统协同生产的功能结构、特性和运行方式。

(一) 功能视图

功能视图旨在描述复杂产品系统的功能构成与功能联系。由于各个功能模块可能是分布在不同企业实体中的, 因此, 复杂产品系统协同生产的功能视图的设计只需对各模块输入、输出、控制及其相互之间的交互情况予以定义, 功能模块具体实现则由成员企业完成<sup>[8]</sup>。本文用 IDEF0 功能模型图对复杂产品系统协同生产的功能进行描述, 如图 2 所示。

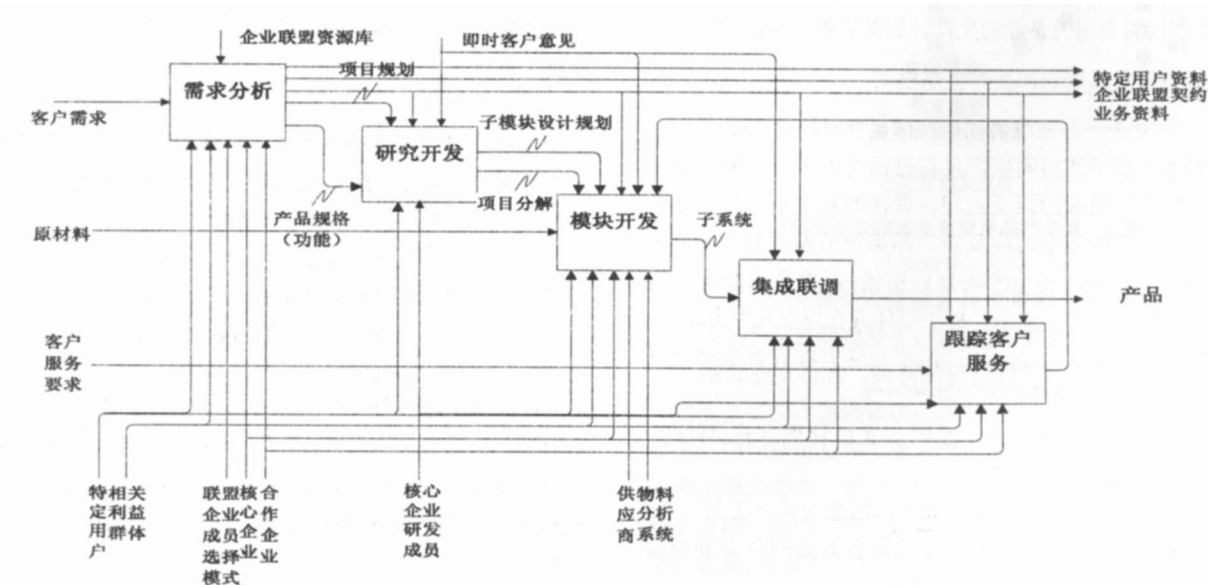


图 2 复杂产品系统协同生产的 IDEF0 功能视图

IDEF0 功能模型图是用结构化分析方法建立的图形模型。每一个模型表示一个较大功能块所分解的若干个子功能及其相互联系。每个子功能又可以进一步分解, 这样就形成了一组按递阶层次分解的图形。在 IDEF0 图中, 用方框表

示功能活动, 与活动方框相连的箭头表示与活动相关联的事物或信息。方框左侧表示功能模块的输入, 如物料、市场信息、产品信息等; 方框右侧表示功能模块的输出, 如产品、文件、信息等; 方框上面表示功能模块运行所要受到的约束和

控制,如政策法规、规章制度、经营目标等;方框下面表示功能模块运行所需要的组织机构、计算机网络等以及协同生产所需的机制。

## (二)组织视图

复杂产品系统协同生产的组织视图应该包括复杂产品系统协同生产的组织构成和复杂产品系统协同生产的组织方式两部分。

### 1、复杂产品系统协同生产的组织构成

由于复杂产品系统具有规模大、系统复杂、项目周期长、研发成本高等特性,单个企业或部门往往难以胜任,需要多家企业或单位协作才能完成。这些参与复杂产品协同生产的企业就形成了多层次的社会网络,该社会网络包括用户、供应商、合作企业、政府相关部门与机构等。以核电站项目为例:核电站项目十分复杂,包含着很多复杂的不确定因素,单企业或单位不能承担,因而需要涉及到多个相关利益群体,如政府机构、监督管理机构、核电公司、总包商、分包商、工程承包商、咨询公司等。而且从规划到建成再到投产使用需要一个漫长的周期。因此,核电项目通常分配给多家不同企业或单位共同完成,每个合作伙伴只负责有限的一组活动(模块或子系统)。不同的合作伙伴,将随着合同方式的不同,其职责会有所变化<sup>[9]</sup>。



图3 复杂产品系统多层次的企业网络图

图中,核心企业通常由具有较强投标能力、研发能力等主要核心能力的企业或单位充当,主要负责复杂产品系统协同生产组织的建立和运行过程的协调。合作企业是指参与复杂产品系统开发,但由于技术能力等因素不能在企业群中起主导作用,又希望成功进入的企业。成员企业间的合作形式主要有供应链、转包加工和虚拟合作等。中介代理是指一些中介机构或网络支持中心、工程技术支持中心。核心企业可以委托这些专业代理帮助寻找和选择合作伙伴,或通过专业代理的网络、技术来支持协同生产的运行。当然,中介代理的功能也可以由核心企业自己来完成。

### 2 复杂产品系统协同生产的组织方式

根据复杂产品系统协同生产的特征,它的组织方式不再局限于单一企业的内部,而是在企业之间建立一种动态联盟的关系。当面临某一市场机遇,企业根据自身的资源条件迅速与其他企业组成动态联盟,以尽量缩短产品开发和生产周

期,优化利用资源来满足客户的需求和市场的竞争。这种联盟是动态的和暂时的,当合作完成或合同到期后,联盟即将解散,企业又可以根据客户的需求和市场的变化寻找新的合作伙伴,组建新的动态联盟。基于项目的组织是复杂产品系统协同生产的最佳组织形式,如图4所示。

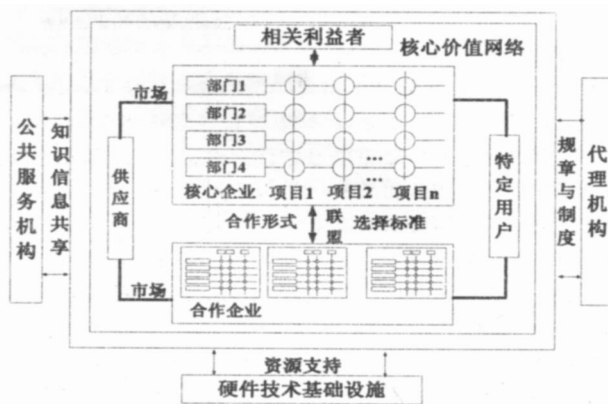


图4 复杂产品系统协同生产的组织视图

## (三)过程视图

复杂产品系统协同生产的过程视图用于描述复杂产品系统的事务处理过程,表示出什么组织、利用什么资源、处理什么问题以及处理该问题的输入信息和输出信息等。复杂产品系统的生产过程是以多职能跨企业的项目为基础的,其研发过程和生产过程通常是相融合的。复杂产品系统协同生产涉及了很多利益群体,包括核心企业、合作企业、供应商、用户和相关社会群体,而各个组织在各阶段的参与程度和任务目的都不同。在整个复杂产品系统协同生产过程中,包括了任务分解、外包选择、模块开发、集成联调以及交付用户跟踪完善等五个过程<sup>[10,11]</sup>,见图5。

(1)任务分解。复杂产品系统协同生产的核心企业在获取订单后,根据对整个系统的框架以及功能需求的分析,对整个复杂产品系统的研发任务划分为相对独立的模块或子系统,并确立各模块之间的协调配合机制,以便各个模块顺利的集成。

(2)外包选择。模块分解后,根据自身的能力评估,同时考虑成本因素,核心企业确定自主研发的模块,其他的模块进行选择的外包。在整个外包选择的过程中,要对合作企业进行能力评估,主要包括技术与生产能力、营运能力以及信用能力等。

(3)模块开发。外包选择之后,各组织根据各自的订单任务,以项目组的形式来进行研发活动,包括基础层面的研发和应用层面的研发;客户高度参与整个开发过程以及各模块之间的协同开发过程。在整个过程中,用户的需求转化为具体的设计参数和设计方案。

(4)集成联调。所有模块开发完后,以核心企业为主,合作企业为辅,完成对复杂产品系统的集成。主要包括模块集成和技术集成。模块集成主要是指零部件的对接,而技术集成是核心企业与合作企业之间技术的交流和沟通,从而实现技术的消化、吸收和融合。模块集成之后的环节是联合

调试,主要是对整个系统的运行环境进行仿真模拟,检测整个系统在仿真状态下的运行状况。

(5)交付与跟踪完善。集成联调结束后,核心企业为用户现场安装调试完成并顺利运行后交付给用户。同时,还需

要配备整套的应急系统,以便对现场出现的问题做及时反馈和处理。交付完成后,核心企业仍需要进行长期的跟踪服务,以解决实际过程中出现的问题,使整个系统得到不断的完善。

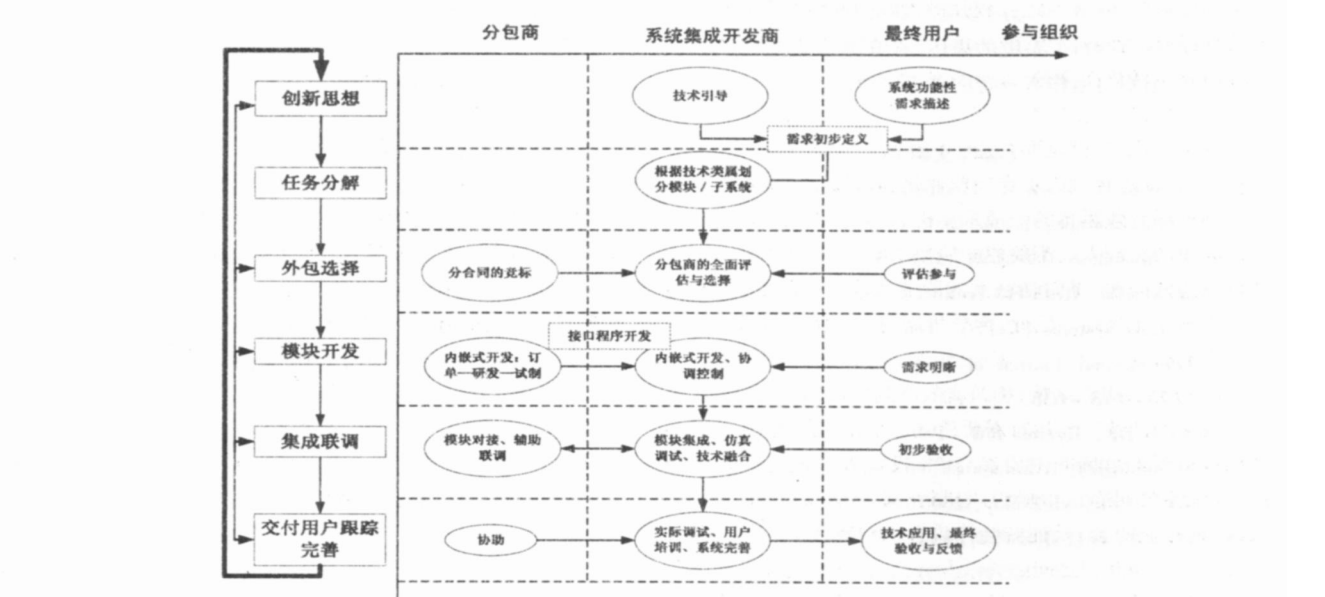


图 5 复杂产品系统协同生产的过程视图

(四)信息视图

信息视图主要是对复杂产品系统协同生产过程中使用的管理信息、工程信息、控制信息等进行归纳和概括,理顺和描述各种信息之间的关系。如各分级式产品的部件、零件以及各分级供应商、生产商和安装商等基本信息。

信息视图通常采用 IDEF1X 方法进行描述,一般通过实体描述出复杂产品系统协同生产的信息构成以及信息的内容、存储方式,通过定义实体间的联系描述信息的分布与接口。图 6 是用 IDEF1X 描述的复杂产品系统协同生产过程中的部分信息联系图。

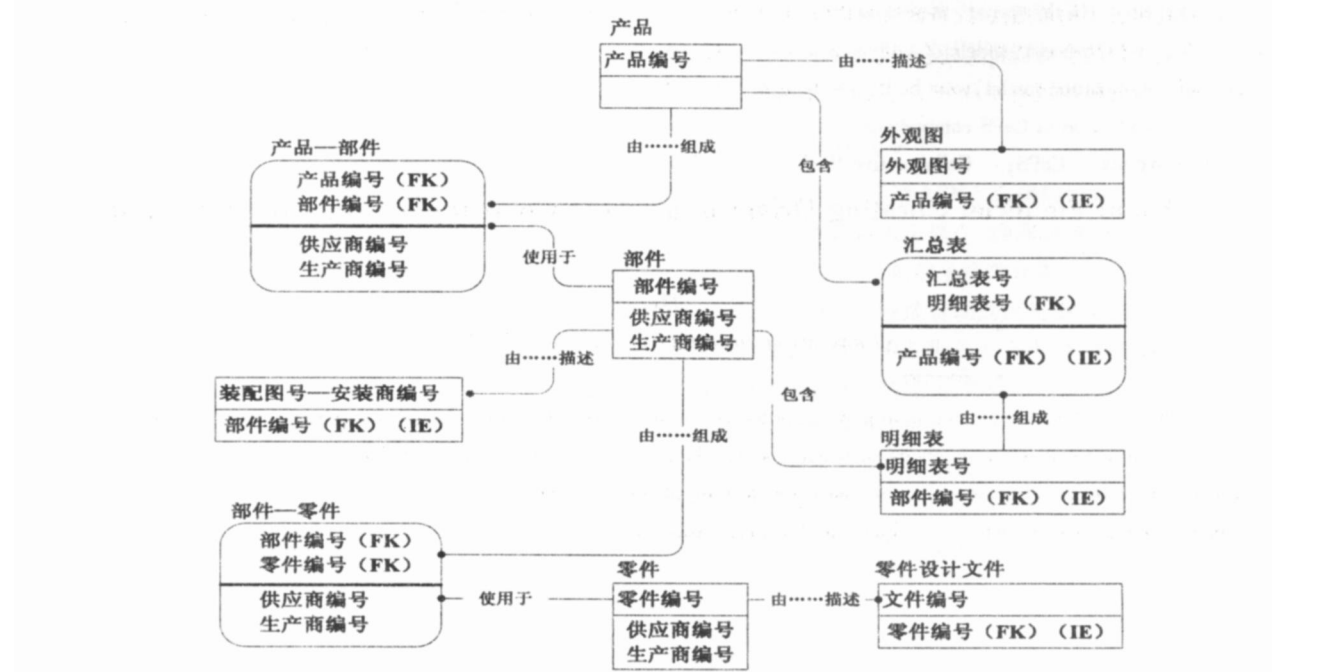


图 6 复杂产品系统协同生产过程中的信息视图

复杂产品系统由于其自身的特殊性,很难按照传统的大规模制造方式组织生产。研究复杂产品系统生产的组织及运作模式有着非常重要的理论和现实意义。本文分析了复杂产品系统协同生产的特性,试图建立复杂产品系统协同生产体系的基本框架,并运用多视图概念模型对复杂产品系统协同生产体系进行了系统的描述,希望能对复杂产品系统协同生产的组织与运作有一定的参考价值。

#### [参考文献]

- [1] Hansen K, Rush H, Hotspots in Complex Product Systems Emerging Issues in Innovation Management [J]. Technovation, 1998(9): 555- 561
- [2] Hobday M, Rush H, Technology Management in Complex Product Systems (CoPS): Ten Questions Answered [J]. International Journal of Technology Management 1999 (17): 618- 638
- [3] Kash DE, Rycroft RW, Patterns of Innovating complex technologies A framework for adaptive network strategies [J]. Research Policy, 2000(29): 819- 831.
- [4] 张 炜.新经济时代新的创新管理范畴——复杂产品系统的创新管理[J].经济管理, 2001(16): 69- 75.
- [5] 尹慧娟,陈伟达.供应链环境下企业间协同生产调度的柔化策略[J].现代管理科学, 2006(02): 89- 90
- [6] ZENG Xiao- qing GAO Yang Collaborative Planning in Virtual Enterprise[C]. Proceedings of 2003 International Conference on Management Science & Engineering Georgia USA, 2003(8): 903- 907.
- [7] 陈 劲,关仓澜,黄建樟,等.复杂产品系统开发网络组织及组织能力探索[J].研究与发展管理, 2005(1): 21- 25
- [8] 张旭梅,侯发欣,俞义樵.敏捷虚拟企业的多视图概念模型和运作模式[J].重庆大学学报, 2002(11): 114- 117
- [9] 邹树梁,陈甲华,刘 兵.面向复杂产品系统的虚拟企业建模研究——以核电站项目为例[J].南华大学学报(社会科学版), 2005(1): 20- 25.
- [10] 陈 劲,周子范,周永庆.复杂产品系统创新的过程模型研究[J].科研管理, 2005(2): 61- 67.
- [11] 邹树梁,吕玉航,陈甲华.复杂产品系统创新组织模式探析[J].技术与创新管理, 2009(3): 324- 327

## The Framework and Multi- view Concept Model of Collaborative Production System to CoPS

CHEN Jia- hua ZOU Shu- liang HUANG Jian- mei et al  
(University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract** In this paper the characteristics of collaboration production to CoPS were analyzed, a framework of it was discussed and multi- view concept models of Collaborative Production System to CoPS (including function model, organization model, process model and information model) were built, which were used to describe the function structure, characteristics and operation mode of collaborative production to CoPS comprehensively and systematically.

**Key words** CoPS; Collaborative Production; Multi- view Concept Model